

## ***SIMULACIÓN POR ELEMENTOS FINITOS Y MODELO MATEMÁTICO DEL COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE LA SUSPENSIÓN POSTERIOR DE UNA MOTOCICLETA TIPO CUSTOM 125 CC.***

### ***SIMULATION BY FINITE ELEMENTS AND MATHEMATICAL MODEL OF THE DYNAMIC BEHAVIOR OF THE REAR SUSPENSION OF A CUSTOM 125 CC MOTORCYCLE.***

Jamil Xavier Salazar Salazar<sup>1</sup>, Freddy Orlando Colcha Guashpa<sup>2</sup>, Fabián Alejandro Cargua Colcha<sup>3</sup>, Luigi Orlando Freire Martínez<sup>4</sup>, Byron Paul Corrales Bastidas<sup>5</sup>, Omar Stalin Yupanqui Taípe<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Universidad Técnica de Cotopaxi, Av. Simón Rodríguez s/n Barrio El Ejido Sector San Felipe, <sup>2</sup>Escuela Politécnica de Chimborazo, Panamericana Sur km 1 1/2

e – mail : <sup>1</sup>freddycolcha@gmail.com <sup>2</sup>fabian.cargua@utc.edu.ec <sup>3</sup>luigi.freire@utc.edu.ec <sup>4</sup>3 byron.corrales@utc.edu.ec <sup>5</sup>4o.yupanqui@espech.edu.ec

*Revista Energía Mecánica Innovación y Futuro VI Edición 2017, No. 1 (19)*

#### **RESUMEN**

El artículo tiene como finalidad analizar el sistema de suspensión posterior de una motocicleta mediante el método de elementos finitos, utilizando el programa computacional Ansys, se plantea el modelo matemático que gobierna el comportamiento dinámico de la suspensión empleando el programa computacional MATLAB.

El análisis se efectúa definiendo las geometrías de los diferentes elementos que componen la suspensión, sus materiales y disposición dentro del sistema, se determinan las fuerzas que actúan sobre el sistema durante su funcionamiento y se realiza un estudio analítico para conocer el comportamiento de la suspensión. Para el análisis dinámico se tomó en cuenta dos condiciones: El estado de frenado normal y el frenado a fondo de la motocicleta. Se realiza una comparación entre los casos antes planteados, de la deformación, la tensión y el desplazamiento, en el cual se obtuvo como resultado que a mayor fuerza se aplique al frenado mayor es la deformación, tensión y desplazamiento. El modelo matemático se fundamentó en la versión más sencilla, podemos considerar cada uno de los amortiguadores como un conjunto masa-muelle, se observa en las distintas gráficas de velocidad, desplazamiento, aceleración, que a mayor fuerza, mayor es la frecuencia de resonancia, concordando con el estudio realizado mediante elementos finitos Ansys.

#### **Palabras clave**

Análisis dinámico, elementos finitos, suspensión posterior, simulación, motocicleta.

#### **ABSTRACT**

The article is intended to analyze the system of rear suspension of a motorcycle using the finite element method, using the computer program Ansys, the mathematical model that governs the dynamic behavior of the suspension using the computer program MatLab. The analysis is carried out defining the geometries of the different elements that compose the suspension, its materials and available within the system, the forces acting on the system are determined during its operation and an analytical study is realized to know the behavior of the suspension, for dynamic analysis took into account two conditions, the state of normal braking, and the braking thoroughly of the motorcycle.

A comparison is made between cases before raised, of the deformation, the tension and the displacement in which was obtained as a result that greater force will apply greater braking is deformation, strain and displacement.

The mathematical model is based on the simplest version, it is possible to be mass each of the shock absorbers like a set-wharf, it is observed in the different graphs of speed, displacement, acceleration, that a greater force, the greater is the resonance frequency, agreeing with the study conducted using finite elements Ansys.

#### **Keywords**

Dynamic analysis, finite elements rear suspension, simulation motorcycle.

## 1. INTRODUCCION

El análisis que se propone realizar es la simulación y propuesta de un modelo matemático del comportamiento dinámico de la suspensión posterior, se simulará las irregularidades de la calzada entre otros parámetros que influyen en el diseño de la suspensión posterior de la motocicleta.

Este estudio aportará al desarrollo tecnológico de las suspensiones posteriores, lo cual servirá para mejorar y optimizar futuros diseño aportando a las mejoraras de las prestaciones dinámicas y contribuir al desarrollo tecnológico para el diseño y construcción de motocicletas que se pretende realizar en el país.

En la actualidad muchas personas optan por adquirir vehículos pequeños y motocicletas de menor cilindraje, consumo y potencia, debido al precio del combustible y la reducción del tiempo de traslado de un lugar a otro.

Mediante una comparación de resultados con el modelo matemático es apto para cualquier amortiguador del mercado.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Las dimensiones y la geometría inicial del prototipo del sistema de suspensión se obtiene tomando como referencia de un amortiguador de la motocicleta (Gn 125 cc), en donde se destaca los elementos principales de intersección entre la unión de los elementos ensamblados y las dimensiones de cada uno de los elementos.

Se analizan las condiciones principales:

- Frenado Normal
- Frenado a fondo

Con ayuda de MEF (Método de Elementos Finitos) que permite realizar un cálculo en condiciones muy similares a la realidad, se valida el estudio del sistema de suspensión posterior de la motocicleta tipo custom 125 cc.

Una vez determinado los parámetros iniciales para el

estudio tales como la geometría, material y esfuerzos que influyen en el comportamiento dinámico de la suspensión posterior, se procedió a la simulación mediante el software ANSYS.

En el método de los elementos finitos un análisis dinámico es una técnica que se utiliza para determinar el comportamiento dinámico de una estructura o componente.

El sistema de suspensión posterior de una motocicleta durante su funcionamiento está sometido a cargas que varían en el transcurso del tiempo, que son consecuencia de las irregularidades del terreno por el que circula.

Debido a esta razón el tipo de análisis dinámico más adecuado para estudiar el sistema de suspensión es un análisis de Elementos Finitos.

Modelo de vehículo completo. El modelo de vehículo completo tiene cuatro grados de libertad y se representa en la (figura 1). Dado que no existen expresiones analíticas y compactas para las frecuencias naturales del sistema, las ecuaciones de movimiento se informan como:

$$M \{\ddot{x}\} + C \{\dot{x}\} + K \{x\} = 0$$

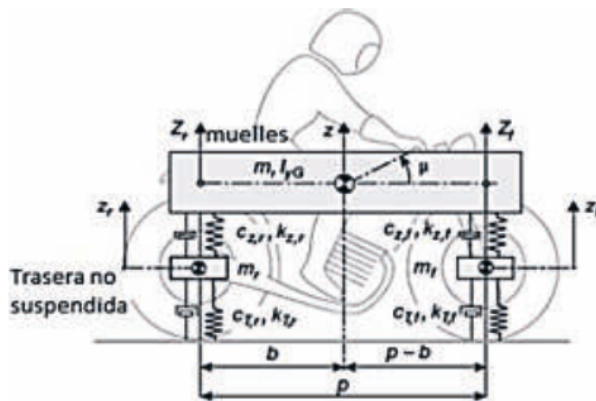


Figura 1. Modelo motocicleta con cuatro grados de libertad

Donde  $m_f$  y  $m_r$  son las masas delanteras y traseras no suspendidas, respectivamente,  $m$  es la masa suspendida,  $k_z$  y  $k_z, r$  son la suspensión delantera y trasera reducida,  $c_z$  y  $c_z, r$  son el frente y la suspensión trasera reduce la amortiguación,  $k_T$  y  $k_T, r$  son la parte delantera y trasera de la rigidez radial del neumático y  $c_T$  y  $c_T, r$  son la parte delantera y trasera de amortiguación radial del neumático. [3]

Una vez determinado los parámetros iniciales para el estudio tales como la geometría, material y esfuerzos que influyen en el comportamiento dinámico de la suspensión posterior, se procedió a la simulación mediante el software ANSYS.

En el método de los elementos finitos un análisis dinámico es una técnica que se utiliza para determinar el comportamiento dinámico de una estructura o componente.

El sistema de suspensión posterior de una motocicleta durante su funcionamiento está sometido a cargas que varían en el transcurso del tiempo, que son consecuencia de las irregularidades del terreno por el que circula.

Debido a esta razón el tipo de análisis dinámico más adecuado para estudiar el sistema de suspensión es un análisis de elementos finitos.

### Pre-Proceso

Dentro de un análisis por elementos finitos el paso del pre proceso es el más fundamental. Consiste en definir por completo el modelo a estudiar. Si la definición del problema está errónea o mal planteada los resultados que se obtendrán al final del análisis serán igualmente falsos.

En el pre-proceso se deben definir las siguientes características del modelo:

- \* Dominio geométrico del problema (Geometría).
- \* Propiedades de material en los diferentes elementos.
- \* Definición de conexiones entre elementos.
- \* Mallado del sistema
- \* Condiciones de borde y estado de carga del sistema.

### Dominio geométrico

Para modelar el sistema de suspensión se utilizó el software de diseño en tres dimensiones en SolidWorks. Este programa permite dibujar de una manera adecuada, fácil y rápida geometrías de formas

complejas como las que se presentan en la suspensión posterior de la motocicleta.

### Materiales

La mayoría de los elementos del sistema de suspensión posterior de la motocicleta están fabricados con un acero al carbono común.

Sin embargo, existen otros componentes que necesitan materiales especiales como es el caso del resorte que usa un acero aleado especial.

### Conexiones

Debido a que el sistema de suspensión está conformado por diversas piezas es necesario definir un tipo de conexión adecuado entre las mismas con el fin de que, una vez realizado el mallado, los nodos de cada elemento sean compatibles entre sí y la transmisión de fuerzas sea posible para un correcto desarrollo del análisis.

Las regiones de contacto definen cómo los elementos interactúan unos con otros.

El programa Ansys permite establecer cinco tipos de contactos entre los cuerpos:

- \* Bonded: los cuerpos permanecen juntos y no deslizan entre sí.
- \* No separation: los cuerpos permanecen juntos y deslizan sin fricción
- \* Frictionless: contacto sin fricción.
- \* Frictional: contacto con fricción.
- \* Rough: no permite el deslizamiento entre superficies.

Los contactos Bonded y No separation son de tipo lineal y no necesitan de iteraciones para ser resueltos, mientras que los demás son contactos no lineales.

La unión traslacional permite el movimiento del pistón en un solo sentido dentro del cilindro, asemejando el comportamiento del amortiguador.

## Mallado del sistema

La creación de la malla consiste en discretizar o dividir los objetos modelados en pequeños elementos denominados “elementos finitos”, en cada uno de los cuales se realizan los cálculos y la resolución de las ecuaciones que permitirán luego obtener los resultados finales de todo el conjunto, este paso es la base de este método de análisis. [2]

En el presente trabajo se emplea elementos de tipo tetraédrico, ya que son los más utilizados en análisis de tipo estructural donde no intervienen fluidos.

## Condición de borde y estado de carga

Es necesario establecer condiciones de borde en el modelo que permitan restringir los grados de libertad de los elementos del sistema de suspensión para que estos simulen el movimiento en una suspensión posterior real.

La suspensión posterior en la motocicleta analizada está sujeta en la parte superior a la carrocería de la motocicleta y en la parte inferior al chasis.

Se utilizó el tipo de soporte fijo que restringe el movimiento en todos los grados de libertad.

De igual manera, para obtener el movimiento de la suspensión posterior, es necesario aplicar una fuerza que permita que el resorte se comprima y empiecen a actuar los demás elementos del sistema.

## Frenado Normal

En el primer estudio a realizar en el amortiguador será tomando en cuenta el peso del asiento (Wa) sumado el peso de la persona promedio (Wp) el cual es 70 kg según una encuesta realizada en el país.

$$P_1 = W_a + W_p \quad (1)$$

$$P_1 = 1,36 + 70$$

$$P_1 = 71,36$$

El peso es dividido para 2 por lo que la motocicleta tiene en su parte posterior dos amortiguadores así que lo que vamos a analizar es un solo amortiguador.

$$P = \frac{71,36 \text{ kg } f}{2} = 35,68 \text{ kg } f$$

$$P = 349,9 \text{ N}$$

## Frenado a fondo

En este segundo estudio se lo realizara con el peso del asiento (Wa) sumado el peso de la persona (m), fuerza de frenado (F) y la transferencia del peso (Aw), siendo todos estos los parámetros que inciden en el frenado a fondo de la motocicleta.

$$P_2 = P_1 + F + A_w \quad (2)$$

## Energía de frenado

$$E = \frac{1}{2} P_1 \cdot V^2$$

$$E = \frac{1}{2} (71,36 \text{ kg } f) \left( \frac{13,09 \text{ m}}{s} \right)^2$$

$$E = 6884 \text{ J}$$

## Fuerza de frenado

$$F = \frac{E}{df} \quad (3)$$

$$F = \frac{6884 \text{ J}}{12,11 \text{ m}} = 568,44 \text{ N}$$

## Transferencia de peso

$$m = \frac{W_p}{g}$$

$$m = 71,36 \frac{\text{kg } f}{9,8} = 7,28 \text{ kg}$$

$$A_w = \frac{m \cdot a \cdot h}{D_c}$$

$$A_w = 7,28 \text{ kg} \cdot 9,28 \frac{\text{m}}{s} \cdot 0,17 \frac{\text{m}}{1,28 \text{ m}}$$

$$A_w = 9,17 \text{ N}$$

La fuerza de frenado y la transferencia del peso son divididas para 2 por lo que la motocicleta tiene en su parte posterior dos amortiguadores así que lo que vamos a analizar es un solo amortiguador.

$$F = 568,44 \frac{\text{N}}{2} = 284,22 \text{ N}$$

$$A_w = \frac{9,17 \text{ N}}{2} = 4,735 \text{ N}$$

$$P_2 = P_1 + F + A_w$$

$$P_2 = 349,9 \text{ N} + 284,22 \text{ N} + 4,735 \text{ N}$$

$$P_2 = 638,85 \text{ N}$$

## Análisis Transiente Structural

En este módulo es importante definir el número de pasos y los intervalos de tiempo. Utilizamos dos pasos, el primero representa el impulso generado sobre el amortiguador cuando la motocicleta enfrenta un obstáculo en la vía, por lo que su duración debe ser muy corta. Se utiliza un tiempo de 0.4 segundos para simular esta condición.

Una vez definido el pre-proceso y configurado las opciones de cada módulo el programa inicia el proceso de solución hasta que coincida un resultado final. Este proceso puede durar un tiempo considerable dependiendo de la geometría del modelo, el tipo de mallado y configuraciones de los módulos.

## Análisis Transient Structural

Como resultado del análisis dinámico se obtuvo la deformación total del sistema de suspensión, pero en este caso es importante observar la curva de la deformación en función del tiempo, ya que se puede apreciar el movimiento vibratorio amortiguado de la suspensión como respuesta a las fuerzas de 349,9 N y 638,855 N que se aplicó en sentido vertical para simular la condición del paso de la motocicleta por un obstáculo.

Cálculo de tensiones, deformaciones y desplazamientos

## Resultados de tensiones

La tensión está dada bajo el equivalente de Von Mises proporcional a la energía de distorsión. En ingeniería estructural se usa en el contexto de las teorías de fallo como indicador de un buen diseño para materiales dúctiles. [4]

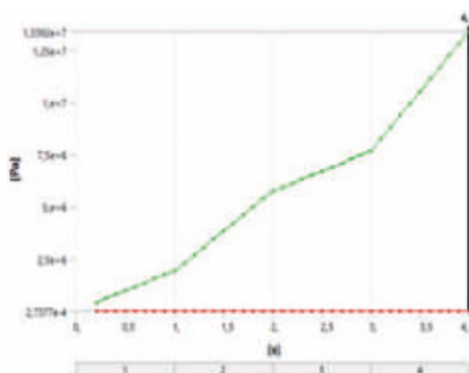


Figura 2. Gráfica de tensiones del amortiguador

Los resultados de las tensiones se van a dar en pascal y la gráfica está en función del tiempo como se puede ver en la (figura 2), podemos observar que empieza desde el punto mínimo siendo este  $3,1737e-004$ , hasta el máximo valor que es  $1,3392e+007$ , en forma ascendente en un transcurso de 4 segundos.

## Resultados de deformaciones

Los resultados de las deformaciones se van a dar en metros y la gráfica está en función del tiempo como se puede ver en la (figura 5), podemos observar que empieza desde el punto mínimo siendo este  $-4,9224e-010$  que es negativo, hasta el máximo valor que es  $1,1809e-005$ , en forma ascendente en un transcurso de 4 segundos.

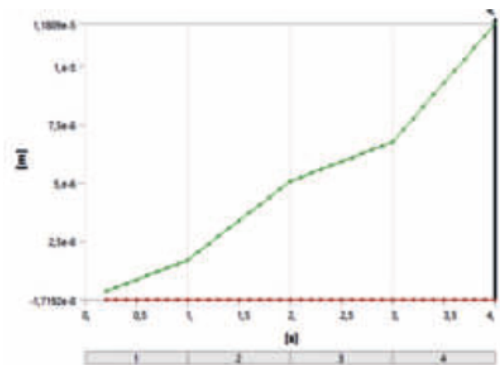


Figura 3. Deformación del amortiguador.

## Resultados de desplazamiento

Los resultados de los desplazamientos se van a dar en milímetros y la gráfica está en función de las iteraciones, como se puede ver en la (figura 4) que empieza desde el punto mínimo siendo este  $-1,1126e-002$  que es negativo hasta el máximo valor que es 8,7936, en forma ascendente y descendente en el transcurso de las 52 iteraciones.

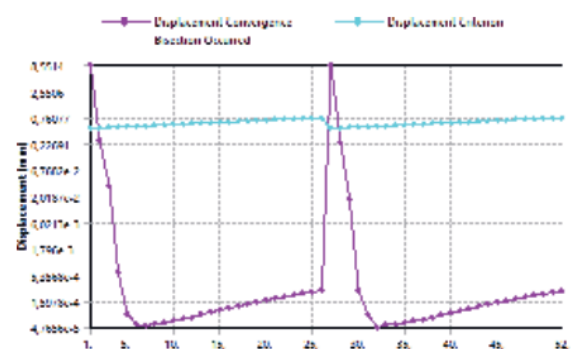


Figura 4. Desplazamiento.

**Análisis de resultados de la suspensión posterior.**

Una vez culminado el proceso de solución y luego de haber obtenido las curvas de deformación de todas las variaciones realizadas se procede a analizar la influencia de los parámetros funcionales del resorte y del amortiguador en el comportamiento del sistema de suspensión y sus consecuencias tanto para la comodidad de los pasajeros como para el desempeño de la motocicleta.

También se elabora una comparación entre las deformaciones, desplazamientos y tensiones, obtenidas del análisis mediante el método de los elementos finitos con el programa Ansys.

**Comparación de las deformaciones**

La siguientes graficas son las obtenidas del reporte del estudio mediante ansys con una fuerza de 349,9N.

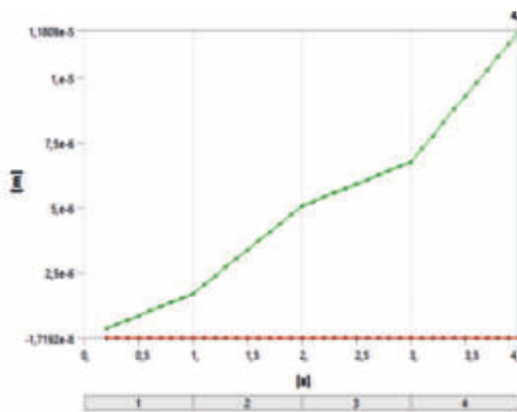


Figura 5. Deformación frenado normal.

La siguientes graficas son las obtenidas del reporte del estudio mediante Ansys con una fuerza de 638,85 N.

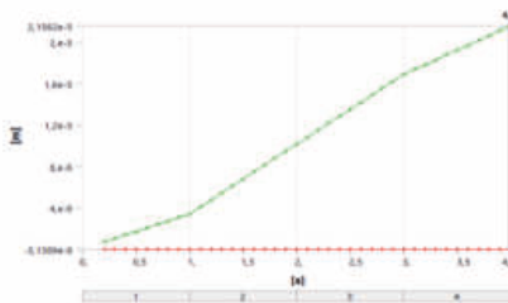


Figura 6. Deformación /frenado a fondo.

Como se puede observar en las gráficas, la deformación va a estar en función del tiempo, y esta

se produce al igual que observar un amortiguador en su funcionamiento real.

En la (figura 10) la deformación va a ser más lenta con respecto a la (figura 11) se va a producir de una manera más rápido esto se debe por los diferentes tipos de fuerza.

En conclusión, la deformación se va a producir más rápido o lenta dependiendo de la fuerza que se le aplique al amortiguador, a mayor fuerza menor tiempo de deformación.

**Comparaciones de los desplazamientos**

La siguientes graficas son las obtenidas del reporte del estudio mediante Ansys con una fuerza de 349.9 N. se produce al igual que observar un amortiguador en su funcionamiento real.

En la (figura 10) la deformación va a ser más lenta con respecto a la (figura 11) se va a producir de una manera más rápido esto se debe por los diferentes tipos de fuerza.

En conclusión, la deformación se va a producir más rápido o lenta dependiendo de la fuerza que se le aplique al amortiguador, a mayor fuerza menor tiempo de deformación.

**Comparaciones de los desplazamientos**

La siguientes graficas son las obtenidas del reporte del estudio mediante Ansys con una fuerza de 349.9 N.

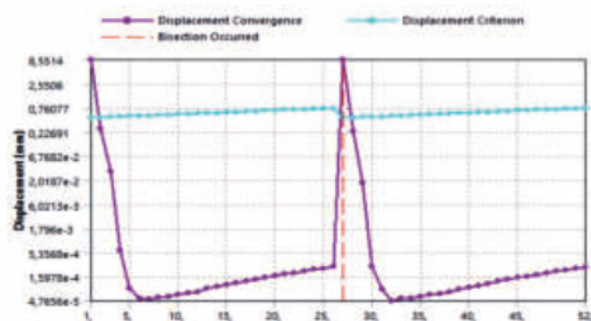


Figura 7. Desplazamiento frenado normal.

La siguientes graficas son las obtenidas del reporte del estudio mediante Ansys con una fuerza de 638.85 N.

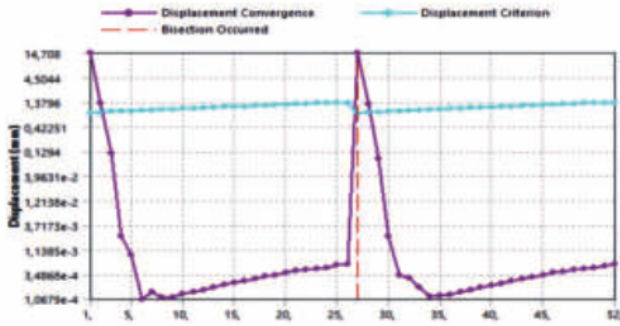


Figura 8. Desplazamiento frenado a fondo

El comportamiento en las gráficas es el mismo pero lo que se modifica es el desplazamiento con respecto a las fuerzas aplicada en el amortiguador, a mayor fuerza mayor desplazamiento.

**Comparaciones de las tensiones.**

Las siguientes gráficas son las obtenidas del reporte del estudio mediante Ansys con una fuerza de 349,9 N.

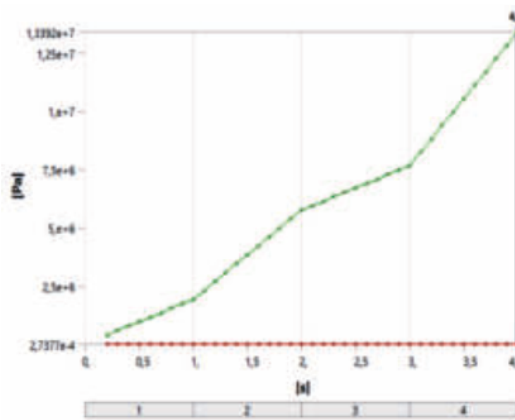


Figura 9. Tensiones a frenado normal

Las siguientes gráficas son las obtenidas del reporte del estudio mediante Ansys con una fuerza de 638,85 N.

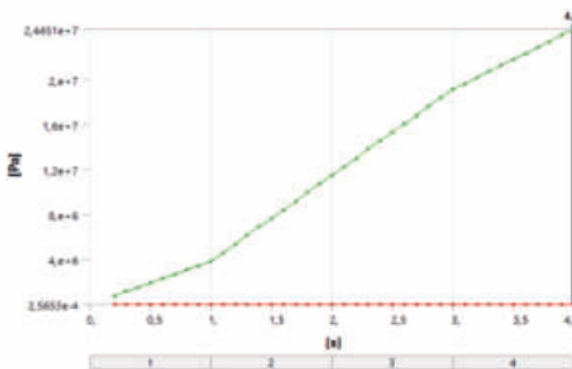


Figura 10. Tensión frenado a fondo

En las gráficas se puede observar de una manera similar que las de deformación lo único que cambia es los diferentes espacios de tensión y en conclusión sería lo mismo, que a mayor sea la fuerza aplicada al amortiguador mayor sería la tensión y por ende en el tiempo de igual manera.

Comparaciones de las fuerzas.

Las siguientes gráficas son las obtenidas del reporte del estudio mediante Ansys con una fuerza de 349,9 N.

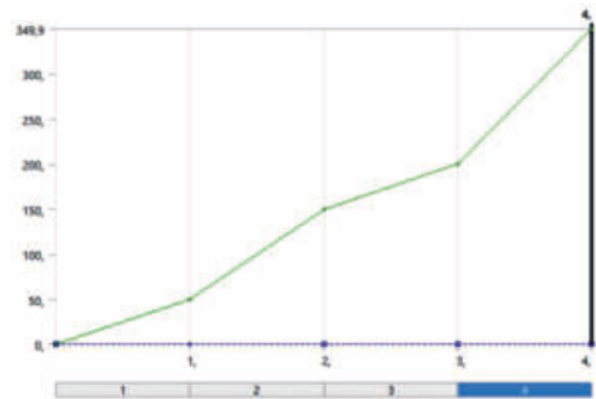


Figura 11. Fuerza a frenado normal

Las siguientes gráficas son las obtenidas del reporte del estudio mediante Ansys con una fuerza de 638,85 N.

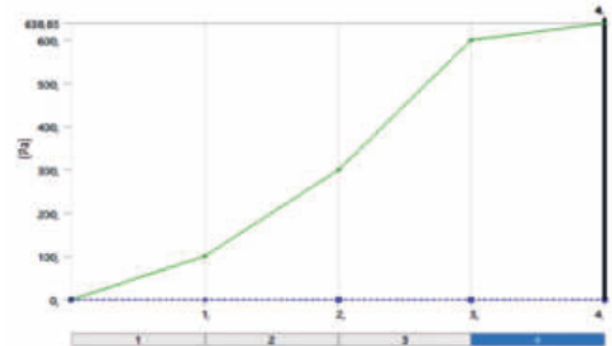


Figura 12. Fuerza de frenado a fondo

En las fuerzas se observa el mismo criterio que a mayor será la fuerza aplicada al amortiguador el desplazamiento del amortiguador será más rápido y así mismo en función del tiempo.

**Propuesta de modelo matemático de la suspensión posterior.**

Se conoce como modelo matemático a las expresiones



que representan el comportamiento dinámico de un sistema. El estudio dinámico consiste entonces en determinar analíticamente la respuesta (salida) cuando la entrada experimenta una variación en el tiempo (excitación).

Los modelos matemáticos de los sistemas físicos son ecuaciones diferenciales, que pueden ser ordinarias para los sistemas a parámetros concentrados o parciales para los sistemas distribuidos.

En nuestro caso el siguiente sistema.

### Sistemas Mecánicos

Los sistemas mecánicos son aquellos sistemas constituidos fundamentalmente por componentes, dispositivos o elementos que tienen como función específica transformar o transmitir el movimiento desde las fuentes que lo generan, al transformar distintos tipos de energía, Un sistema mecánico está conformado por los elementos siguientes:

Elemento	Representación gráfica	Ecuación fundamental
Resorte		$F = Kx$
Amortiguador		$F = CV = C \frac{dx}{dt}$
Fricción		$F = BV = B \frac{dx}{dt}$
Masa		$F = Ma = M \frac{d^2x}{dt^2}$

Figura 13. Elementos del sistema mecánico.

Dónde:

F = Fuerza

X = Desplazamiento

V = Velocidad

A = Aceleración

K = Constante del resorte

C = Constante del amortiguador

B = Coeficiente de fricción

M = Masa

El modelo matemático se obtiene haciendo un diagrama de cuerpo libre sobre cada masa del sistema.

**Ajuste del muelle:** valor de la constante de elasticidad K

### Constante elástica

Una constante elástica es cada uno de los parámetros físicamente medibles que caracterizan el comportamiento elástico de un sólido deformable elástico. A veces se usa el término constante elástica también para referirse a los coeficientes de rigidez de una barra o placa elástica.

#### Acero SAE 5160

Propiedad	Valor
Densidad	7850 kg /
Módulo de elasticidad	190 GPa
Coefficiente de Poisson	0.3
Límite de fluencia	530 Mpa
Resistencia última a la	951 Mpa
Dureza	179 ITB

Tabla 2. Propiedades del Acero SAE 1020

#### Acero SAE 1020

Propiedad	Valor
Densidad	7870 kg /
Módulo de elasticidad	207 GPa
Coefficiente de Poisson	0.3
Límite de fluencia	210 Mpa
Resistencia última a la	380 Mpa
Dureza	111 ITB

**Ajuste del hidráulico:** valor de la constante de amortiguamiento B

### Viscosidad

La viscosidad es la principal característica de la mayoría de los productos lubricantes. Es la medida de la fluidez a determinadas temperaturas.



GRADO ISO	GRADO ASTM	GRADO AGMA	MOTOR		GRADO SAE	ENGRANAJES	
			UNIGRADO	MULTIGRADO		UNIGRADO	MULTIGRADO
10							
15	25						
22	110		10W,15W		75W		
42	150		10W				
46	215	1	10W,15W				
68,68CP	315	2,2CP	20W,20	10W,30,20W,20	60,80W		
100,100CP	465	3,3CP	25W,30	5W,50,15W,10			
150,150CP	680	4,4CP	40	15W,50,20W,40			
220,220CP	1100	5,5CP	50		85W,110		
320,320CP	1500	6,6CP			85W,140		
440,440CP,460C	2100	7,7CP,7C				140	
680,680CP,680C	3150	8,8CP,8C					
1000,1000CP,1000C	4650	9,9CP,9C					
1500,1500CP,1500C	7000	10,10CP,10C					250

Figura 14. Tipos de sistemas de viscosidad

**Modelo Matemático**

En su versión más sencilla, podemos considerar cada uno de los amortiguadores como un conjunto masa-muelle del tipo de la siguiente figura.

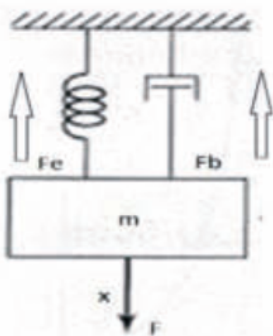


Figura 15. Modelo sencillo de la suspensión de una de las ruedas de una motocicleta

Donde M es la mitad de la masa del conjunto moto-piloto, Fe es la constante elástica del muelle y Fb la viscosidad del amortiguador.

$$F - F_e - F_b = m \cdot a$$

$$F = F_e + F_b + m \cdot a$$

$$\left[ F = Kx + b \frac{\partial x}{\partial t} + m \frac{d^2 x}{dt^2} \right] \quad (6)$$

$$\frac{d^2 x}{dt^2} = \frac{1}{m} \left( F - Kx - b \frac{\partial x}{\partial t} \right)$$

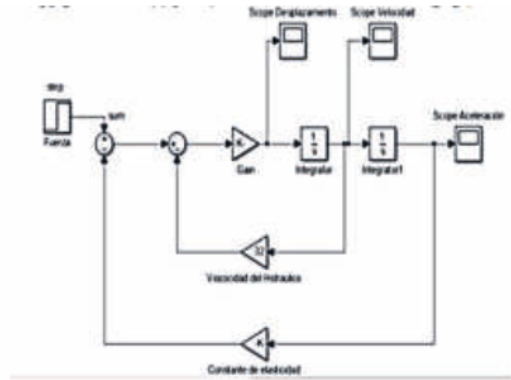


Figura 16. Modelado matemático en simulink

**Resultados de modelo matemático**

Para realizar las pruebas en el modelo matemático se empleó otro tipo de material y otro tipo de aceite para hacer comparación entre los dos tipos de amortiguadores este material es el acero SAE 1020.

**Resultados de graficas de simulink**

Para el análisis realizado entre los dos tipos de materiales se procedió a cambiar los parámetros de los tipos de amortiguadores que son los siguientes.

SAE 1020: Grado de viscosidad de un aceite 15 W hidráulico de 46 cst y el módulo de elasticidad 207 Gpa con la fuerza de 349,9 N.

SAE 5160: Grado de viscosidad del aceite de 10 W hidráulico de 32 cst y el módulo de elasticidad de 190 Gpa con la fuerza de 349,9 N.

Tabla 3. Resultados de las pruebas del modelo matemático.

MATERIAL	FUERZA	ACELERACION	VELOCIDAD	DESPAZAMIENTO
Acero SAE 5160	349,9N	Sobre amortiguador	Sub amortiguado	Sub amortiguado
Acero SAE 1020	349,9N	Sobre amortiguador	Sub amortiguado	Sub amortiguado

Dándonos como conclusión de las pruebas realizadas al modelo matemático, que nuestro modelo matemático está listo para ser aplicado a cualquier tipo de amortiguador que exista en el mercado.

**3. DISCUSIÓN**

La suspensión durante su funcionamiento se encuentra sometida a dos casos básicos de carga: frenar

normalmente y frenado a fondo. Al analizar estos dos casos de carga, se puede concluir que el estado más crítico al que se encuentra sometido el sistema es cuando en la motocicleta se acciona el frenado a fondo.

Una vez comparados los resultados de los dos casos se llega a la conclusión que tanto el desplazamiento como tensión y la deformación son mayores con respecto a la fuerza aplicada al amortiguador.

En el segundo caso se puede observar que la frecuencia de resonancia esta fuera del límite permitido que es 5 hercios, ya que si es mayor que este los ocupantes tendría mareos y daños severos al organismo, pero se le permite porque la motocicleta no va a estar constantemente en ese periodo de frenado a fondo seria solo por momentos.

Dándonos como conclusión de las pruebas realizadas al modelo matemático, que nuestro modelo matemático está listo para ser aplicado a cualquier tipo de amortiguador que exista en el mercado.

#### 4. CONCLUSIONES

La utilización del amortiguador en la suspensión permite atenuar las oscilaciones de la carrocería de una manera rápida, disminuir las variaciones de carga dinámica, ya que sobre el sistema actúan cargas variantes en el tiempo durante su funcionamiento. El tipo de estudio que más se ajusta a estas características es el análisis transitorio.

La suspensión en su funcionamiento se encuentra sometida a dos casos básicos de carga: al frenado normal y frenado a fondo. Al analizar estos dos casos de carga, se puede concluir que el estado más crítico al que se encuentra sometido el sistema es cuando en la motocicleta se acciona el frenado a fondo, duplicando los valores de tensión, deformación, desplazamiento obtenidos al analizar el frenado normal.

Para que los resultados del análisis por elementos finitos se ajusten a la realidad, se debe estar al tanto de cómo interactúa cada pieza del sistema durante el funcionamiento, para simular estas circunstancias mediante uniones, contactos, apoyos y que las condiciones de borde y de carga se encuentren acorde

a la realidad.

En el modelo matemático básico de la suspensión posterior realizado en el software MAT LAB, las pruebas se realizaron con distintos valores de constante de elasticidad e índice de viscosidad, se concluye que el modelo matemático planteado responde a un sistema sub-amortiguado. Los resultados obtenidos se encuentran dentro del rango de la frecuencia de amortiguamiento que es de +5Hz, aceptable y presente el confort adecuado.

Al analizar el sistema de suspensión mediante el método de elementos finitos, empleando el software ANSYS, es necesario evitar que los neumáticos salten sobre el suelo.

Estas características influyen sobre la seguridad en la marcha del vehículo.

#### 5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] M, V., & H, R. (2012). Propuesta cde basculante y sistema de suspensión para una moto de competencia. Madrid.
- [2] L, Kent. (2010). Ansys Worbench Tutorial. Texas EEUU.
- [3] T, T, Foale, (2006). Motorcycle handling and chassis desing, España.
- [4] M,A,Hugh.(1963). Advanced Mechanics of Materials, London.

#### 6. BIOGRAFÍAS



<sup>1</sup>Jamil Salazar  
Xavier Salazar  
Ingeniero Automotriz,  
electromecánico  
de línea poliodicto  
Pascuales Cuenca desde  
el 2016. Prestación de  
servicios profesionales,  
mantenimiento de  
maquinaria y equipos  
de terminales y estaciones de poliodicto,diseño y  
construcción de estructuras metalicas “Empresa  
Tarapoa Productivo Servicios”



<sup>2</sup> Freddy Orlando Colcha Guashpa, Ingeniero Automotriz, Docente tiempo completo en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo desde 2014 a 2017, Docente tiempo completo en Instituto Tecnológico Superior

Luis Tello desde 2019. Presta consultoría de mantenimiento y Reparación de Sistemas Automotrices desde 2017.



<sup>5</sup> Byron Paúl Corrales Bastidas Ingeniero en Electrónica e Instrumentación, Magister en Gestión de Energías. Docente a tiempo completo de la Carrera de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica de

Cotopaxi. Con alrededor de 9 años de experiencia en centrales de generación eléctrica en el sector petrolero del país.



<sup>3</sup> Fabián Alejandro Cargua Colcha Ingeniero Automotriz Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Magister en Sistemas Automotrices Escuela Politécnica Nacional, Docente Investigador de la Carrera de Ingeniería

Electromecánica Universidad Técnica de Cotopaxi. Consultor de proyectos relacionados a la Ingeniería Automotriz.



<sup>6</sup> Luigi Orlando Freire Martínez Ingeniero en Electromecánica, Magister en Gestión de Energías. Docente a tiempo completo de la Carrera de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi. 4 años de

experiencia en centrales térmicas de generación eléctrica en el sector petrolero y 1 año en centrales hidroeléctricas.



<sup>4</sup> Omar Stalin Yupanqui Taípe, Técnico Automotriz, Experto en Métodos de Estudio y Lectura Sináptica actualmente estudiante de Ingeniería Automotriz en la Escuela Superior Politécnica de

Chimborazo, Integrante de equipo de Investigación e Innovación que buscan mejorar problemáticas en torno al ámbito Automotriz y afines.